



Agriculture  
Canada



Agriculture  
Canada

APR - 5 1993  
AVR

Library / Bibliothèque, Ottawa K1A 0C5



Direction générale de la recherche  
Bulletin technique 1992-8F

# Comparaison des applications automnales et printanières d'engrais azotés en Alberta



630.72  
C759  
C 92-8  
fr.  
c.3

Canada

### **Cover illustration**

The images represent the Research Branch's objective: to improve the long-term competitiveness of the Canadian agri-food sector through the development and transfer of new technologies.

*Designed by Research Program Service.*

### **Illustration de la couverture**

Les dessins illustrent l'objectif de la Direction générale de la recherche : améliorer la compétitivité à long terme du secteur agro-alimentaire canadien grâce à la mise au point et au transfert de nouvelles technologies.

*Conception par le Service aux programmes de recherches.*



# Comparaison des applications automnales et printanières d'engrais azotés en Alberta

S.S. MALHI  
Agriculture Canada  
Station de recherches  
Lacombe (Alberta)

M. NYBORG  
Département des sciences du sol  
Université de l'Alberta  
Edmonton (Alberta)

E.D. SOLBERG, D.J. HEANEY  
Direction générale des sols  
Agriculture Alberta  
Edmonton (Alberta)

Bulletin technique 1992-8F

---

Direction générale de la recherche  
Agriculture Canada  
1992

On peut obtenir cette publication à l'adresse suivante :

Directeur

Station de recherches

Direction générale de la recherche

Agriculture Canada

Sac postal 5000

58<sup>e</sup> Rue et C & E Trail

Lacombe (Alberta)

TOC 1S0

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1992

N° de cat. A54-8/1992-8F

ISBN 0-662-97876-5

Also available in English under the title

*Fall compared to spring application of nitrogen fertilizers  
in Alberta*

## TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS .....	iv
RÉSUMÉ/SUMMARY .....	v
INTRODUCTION .....	1
POURQUOI LA FUMURE AUTOMNALE EST MOINS EFFICACE ? .....	1
FACTEURS DE L'EFFICACITÉ DE L'AZOTE APPLIQUÉ L'AUTOMNE ET LE PRINTEMPS .....	3
Type d'engrais azoté .....	3
Date de l'épandage automnal .....	3
Inhibiteurs et engrais-retard azotés .....	5
Méthodes de localisation de l'engrais .....	8
Profondeur de l'application printanière .....	12
Dose d'azote, teneur du sol en azote nitrique et rendement des cultures .....	14
Texture, drainage et humidité du sol en automne .....	15
Zone pédoclimatique .....	15
CONCLUSIONS .....	18
RECOMMANDATIONS .....	19
BIBLIOGRAPHIE .....	19

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier l'Agricultural Research Council de l'Alberta (Programme Farming for the Future), l'Alberta Agriculture Research Trust, la Western Co-operative Fertilizers Limited et l'Institut international du soufre, qui nous ont appuyés financièrement. Nous remercions également l'Alberta Agriculture Soils and Animal Nutrition Laboratory qui ont effectué certaines analyses pour nous.

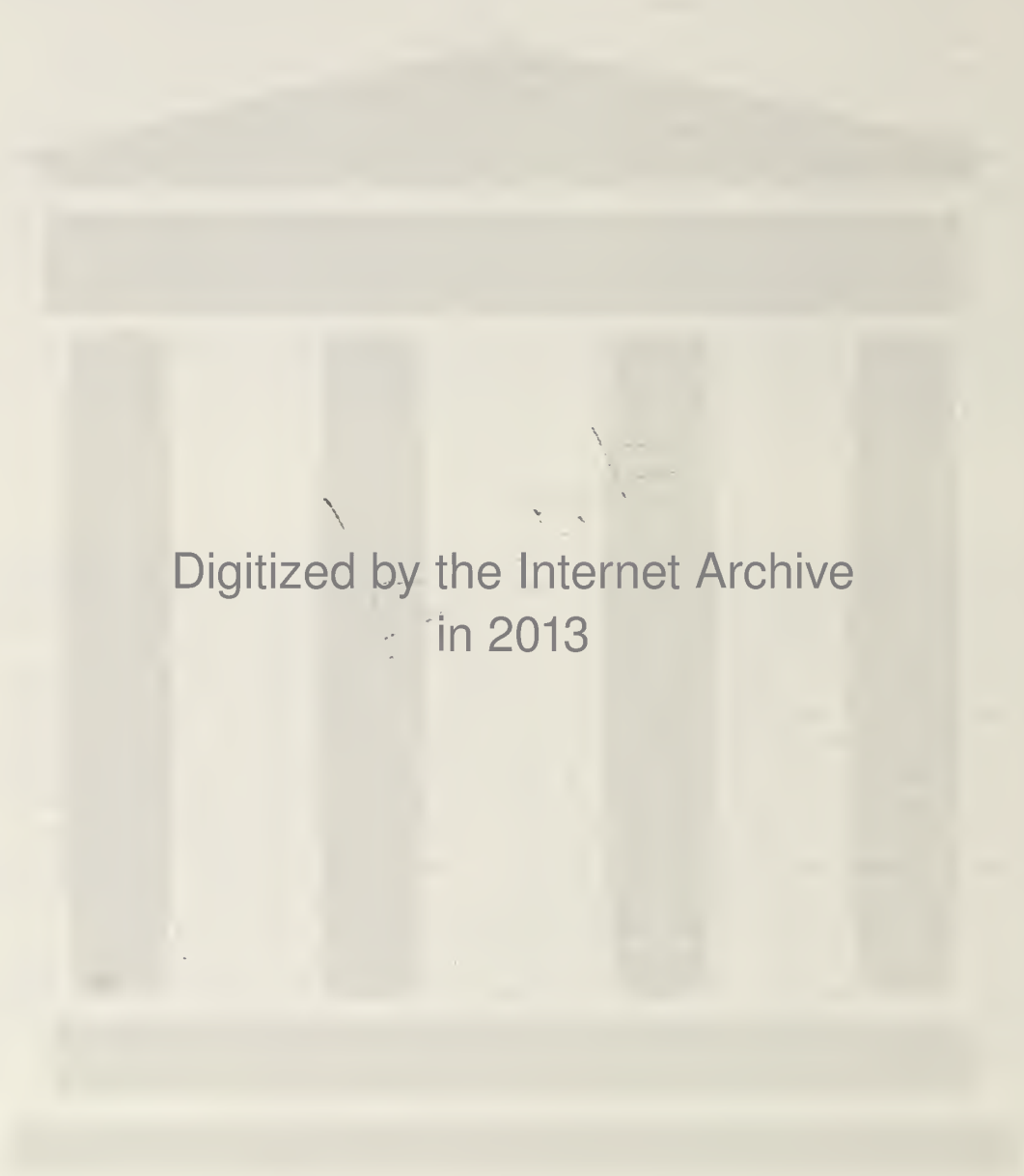
## RÉSUMÉ

En Alberta, tout comme dans les autres provinces des prairies, la fumure azotée appliquée en automne est souvent moins efficace que celle appliquée au printemps. Cette étude a été entreprise pour en déterminer les raisons et pour comparer l'effet de certains facteurs sur l'efficacité de l'application de fumure azotée automnale et printanière et pour examiner des méthodes qui pourraient améliorer le rendement de la fumure azotée automnale. La faible production associée à l'épandage d'urée automnale a été attribuée à une nitrification durant l'hiver suivie d'une dénitrification après la fonte des neiges. La perte de fumure azotée automnale du pool d'azote inorganique a aussi été causée par immobilisation. On a amélioré l'application de fumure azotée automnale grâce entre autres à l'utilisation de fertilisants à base d'ammonium, en retardant l'application plus tard à l'automne et en plaçant un fertilisant à large granulométrie, en bandes bien espacées. Des inhibiteurs ont accru le rendement de l'orge sur fumure azotée automnale même s'ils peuvent s'avérer non-rentables. On a également amélioré l'efficacité relative de la fumure azotée automnale, en augmentant la teneur d'azote et d'azote nitrique du sol, avec une texture plus fine, un meilleur drainage, des conditions de sol plus sec à l'automne et au printemps et ce, de la zone des sols luvisoliques gris au nord de la province jusqu'à la zone des sols bruns au sud.

## SUMMARY

In Alberta and other Prairie Provinces, fall-applied N is often less effective than spring-applied N. The study was conducted to find reasons for inferiority of fall-applied N, and to determine the effect of various factors on the relative effectiveness of fall- versus spring-applied N and to investigate methods to improve the efficiency of fall-applied N. The poor performance of fall-applied urea was attributed to nitrification over the winter and subsequent denitrification in early spring after the snow melt. The loss of fall-applied N from mineral N pool was also caused by immobilization. The effectiveness of fall-applied N was improved by using ammonium-based fertilizers, delaying application in fall, and placing N fertilizer in widely-spaced bands and more so in nests or as large pellets. Inhibitors were also effective in increasing yield response of barley to fall-applied N, but may not be cost-effective. The relative efficiency of fall- versus spring-applied N was also increased with increasing N rate and soil test  $\text{NO}_3\text{-N}$  level, fine texture, better drainage, drier soil conditions in fall and spring, and from Grey Luvisolic soil zone in northern to Brown soil zone in southern Alberta.





Digitized by the Internet Archive  
in 2013

<http://archive.org/details/comparaisondesap19928malh>



## INTRODUCTION

En Alberta et dans les autres provinces des Prairies, c'est souvent en automne plutôt qu'au printemps qu'on applique les engrais azotés, en prévision des semailles du printemps suivant. On en retire deux grands avantages : il est plus facile de s'en procurer et à meilleur prix. Cependant, l'application automnale se traduit par une augmentation de rendement beaucoup plus faible que celle qui découle de l'application printanière (tableau 1). À cet égard un certain nombre de facteurs peuvent jouer, notamment la gestion des traitements (nature de l'engrais azoté, date de l'épandage automnal et méthode de localisation, utilisation d'inhibiteurs de la nitrification ou d'engrais à libération lente, utilisation de paille) et d'autres facteurs tels que la texture du sol, son degré d'humidité pendant l'automne, le drainage, la zone pédoclimatique, la profondeur de la localisation et le volume des précipitations au début de la période de croissance, la dose d'azote appliquée, la teneur mesurée du sol en azote nitrique et la réaction des cultures aux apports d'azote. Le présent bulletin renseignera les vendeurs d'engrais, les agents de vulgarisation et les agriculteurs sur l'effet de ces différents facteurs sur l'efficacité relative des fumures automnales et printanières. Les renseignements sont basés sur des essais au champ, effectués pour la plupart dans le centre et le centre-nord de l'Alberta.

### POURQUOI LA FUMURE AUTOMNALE EST MOINS EFFICACE ?

Des échantillons, prélevés de l'automne à la fin de l'hiver, de sols fertilisés l'automne ont montré que, durant l'hiver, l'urée incorporée au sol se transforme lentement en nitrate (nitrification), même quand le sol est gelé (tableau 2). Lorsque le sol est humide et mal aéré, ce nitrate est susceptible de disparaître par formation de gaz azotés (dénitrification). Ainsi, dans un certain nombre d'essais, on a retrouvé au début du printemps très peu de l'azote marqué au  $^{15}\text{N}$  des engrais azotés appliqués l'automne<sup>1</sup> et la quantité retrouvée variait beaucoup selon l'engrais utilisé (tableau 3 et figure 1) : les pertes d'azote frappaient beaucoup plus les engrais à base de nitrate que les engrais à base d'ammonium. Les pertes observées au début du printemps étaient plutôt causées par la dénitrification que par le lessivage. En effet, l'azote appliqué l'automne ne s'était pas déplacé à plus de 60 cm de profondeur (tableau 3). Des expériences similaires avec des engrais marqués au  $^{15}\text{N}$  montrent que les pertes surviennent l'hiver, pendant les épisodes de redoux, et le printemps, à la fonte et quand le sol est humide.

---

<sup>1</sup>  $^{15}\text{N}$  est un isotope lourd de l'azote, dont les chercheurs se servent pour suivre le cheminement de l'azote des engrais dans les sols et les végétaux. Cela facilite le bilan de l'azote appliqué.

Tableau 1 Augmentation du rendement et mobilisation de N dans des cultures d'orge, par suite de l'incorporation d'urée au sol, l'automne et le printemps (moyennes de 44 essais). Dose : 56 kg de N/ha.

Mesures	Temps d'application de N		Efficacité relative*
	Printemps	Automne	
Augmentation du rendement en grain (kg/ha)	970	1 840	55
% d'assimilation de N appliqué dans le grain	27	55	50

\* L'efficacité relative se calcule comme suit : 100 fois le quotient de l'augmentation du rendement procurée par la fumure automnale divisée par l'augmentation du rendement procurée par la fumure printanière.

Tableau 2 Nitrification hivernale apparente de l'azote de l'urée incorporée au sol le 6 octobre à la dose de 56 kg de N/ha (moyenne de 6 essais).

Type de traitement*	% d'azote uréique transformé en azote nitrique		
	21 octobre	7 décembre	6 mars
Urée - incorporée	23	43	57
Urée - en bandes	8	19	25
U+I - incorporés	5	8	12
U+I - en bandes	1	2	5

\* U+I : urée + inhibiteur granulés ensemble selon le rapport de 2 à 1 respectivement.

Tableau 3 Pourcentage retrouvé dans le sol, au mois de mai suivant, de l'azote d'engrais marqués au  $^{15}\text{N}$  et épandus en octobre ou décembre à la dose de 112 kg de N/ha

% retrouvé de $^{15}\text{N}$ de la fumure automnale						
Moyenne de deux essais				Moyenne de trois essais		
Prof. du sol (cm)	$\text{KNO}_3$ (inc.)*	Urée (inc.)	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (bandes)	$\text{KNO}_3$ (bandes)	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (bandes)	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ + thio-urée (bandes)
0-15	18	46	80	15	92	97
15-30	23	16	3	11	2	1
30-60	2	1	0	1	0	0
60-90	0	0	0	0	0	0
90-120	0	0	0	0	0	0
Total	43	63	83	27	94	98

\* Incorporé au sol

#### FACTEURS DE L'EFFICACITÉ DE L'AZOTE APPLIQUÉ L'AUTOMNE ET LE PRINTEMPS

##### Type d'engrais azoté

Dans une série d'expériences où on avait incorporé au sol, en automne, soit de l'urée, soit du nitrate de calcium, le rendement moyen de ce dernier engrais a été inférieur (tableau 4). Dans quatre comparaisons de la fumure automnale à l'urée et au sulfate d'ammonium, ce dernier engrais a procuré les rendements les plus élevés. Enfin, dans quatre autres expériences, la fumure automnale au nitrate d'ammonium a conduit à des rendements légèrement inférieurs à ceux de la fumure automnale à l'urée. Ces trois séries de comparaisons (tableau 4) montrent donc que les fumures automnales aux nitrates sont souvent moins efficaces que les fumures automnales à base d'ammonium.

##### Date de l'épandage automnal

Entre la vitesse de nitrification et la température du sol, la corrélation est positive. On devrait donc observer une nitrification plus prononcée de l'ammonium appliqué tôt l'automne, dans un sol encore chaud, que de l'ammonium appliqué tard, dans un sol refroidi. En effet, le sol refroidit de façon continue de la mi-septembre au début de novembre, où il commence à geler (fig. 2). On peut donc s'attendre, à la fin de l'hiver, à des pertes d'azote plus élevées, et plus tard, dans les cultures, à une absorption de l'azote et à un rendement plus faibles lorsque les fumures ammoniacales sont effectuées

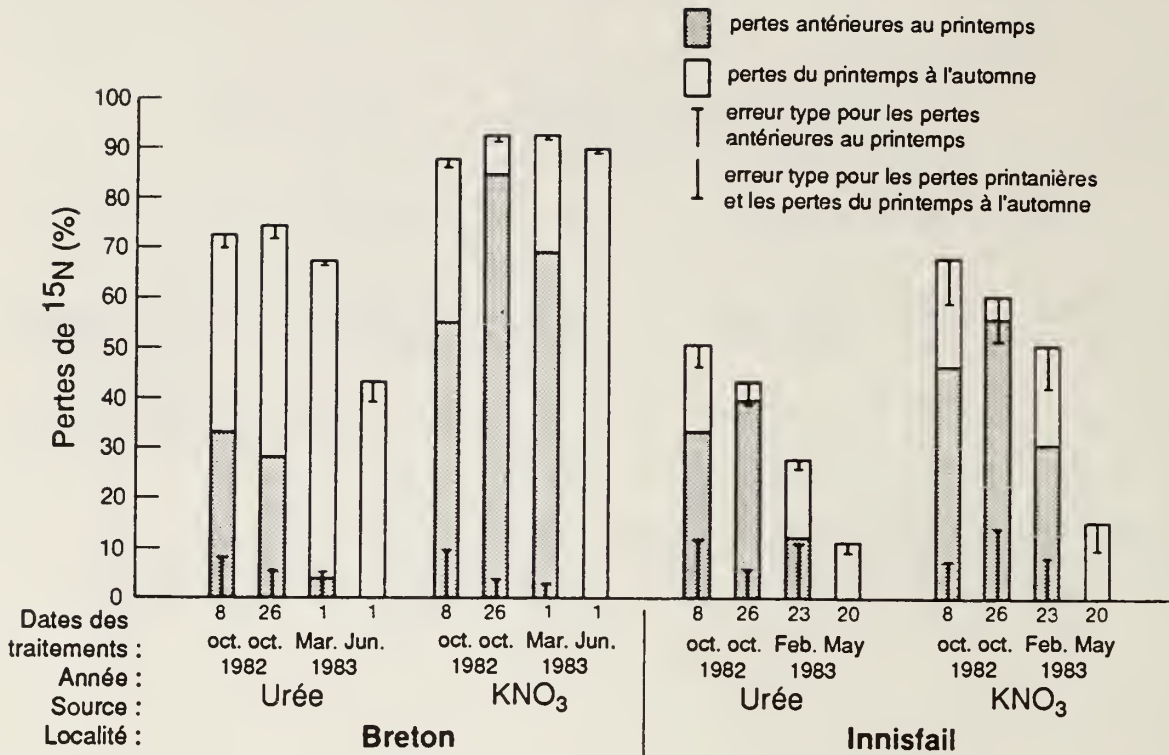


Fig. 1 Pertes en <sup>15</sup>N du sol au semis et pertes de l'isotope du sol et des végétaux à la récolte selon quatre dates d'épandage de chaque engrais et dans chaque localité.

au début plutôt qu'à la fin de l'automne. Nous avons voulu vérifier cette hypothèse par 15 essais durant lesquels, à 2 ou 3 dates automnales, de l'urée a été épandue à la volée puis incorporée au sol. Le printemps suivant, le taux d'azote minéral (ammonium plus nitrate) retrouvé était plus élevé dans les champs traités à la fin de l'automne plutôt qu'au début (fig. 3) : 73 et 31 %, respectivement, pour les traitements effectués le 31 octobre et le 20 septembre (selon la régression linéaire).

Relativement à la fumure printanière, la fumure uréique automnale a conduit à un rendement en orge faible (fig. 4). De plus, en retardant l'application automnale, on a pu améliorer le rendement de façon notable. Ainsi, le rendement relatif (des applications automnales par rapport aux applications printanières) est passé de 23 à 69 % avec l'urée appliquée respectivement le 20 septembre et le 31 octobre. On a observé les mêmes tendances dans l'absorption de l'azote par les cultures d'orge (fig. 5). En effet, les cultures sur sols traités à la fin de l'automne ont davantage assimilé d'azote que les cultures sur sols traités au début de cette saison.



Tableau 4 Comparaison des effets de la fumure automnale et printanière par incorporation d'azote, à la dose de 56 kg/ha, sur l'augmentation du rendement et sur l'assimilation de l'azote par les cultures d'orge, dans des essais au champ.

Nombre d'essais	Traitement*	Augmentation du rendement en grain (kg/ha)	% de N retrouvé dans le grain	Efficacité relative (rendement) **	Efficacité relative (N retrouvé)**
21	NC - automne	802	21	48	41
	U - automne	940	26	56	51
	U - printemps	1 683	51		
4	SA - automne	1 435	37	61	54
	U - automne	1 130	31	48	45
	U - printemps	2 335	69		
4	NA - automne	750	24	58	59
	U - automne	848	27	66	66
	U - printemps	1 285	41		

\* NA, NC, SA, et U : nitrate d'ammonium, nitrate de calcium, sulfate d'ammonium et urée respectivement.

\*\* L'efficacité relative se calcule comme suit : 100 fois le quotient de l'augmentation du rendement (ou du taux de N retrouvé, selon le cas) procurée par la fumure automnale divisée par l'augmentation du rendement (ou le taux de N retrouvé) procurée par la fumure printanière.

On a observé une grande variation, d'une expérience à l'autre, de l'efficacité relative des fumures automnales et printanières à l'urée. Il n'y a là rien de surprenant, puisque les expériences ont été menées sur une grande variété de sols et se sont échelonnées sur plusieurs années. Cependant, les traitements du début de l'automne se sont révélés inefficaces pour les cultures d'orge, tandis que les applications tardives ont parfois permis d'atteindre des rendements assez voisins de ceux que procurent les traitements printaniers (fig. 4 et 5). Notons cependant, que ces résultats concernent l'urée incorporée au sol. La localisation en bandes, qui tend à augmenter l'efficacité des fumures automnales, peut donner des résultats qui dépendent moins de la date.

#### Inhibiteurs et engrais-retard azotés

Contrairement au nitrate, l'ammonium résiste davantage au lessivage et il est préservé de la dénitrification dans le sol. Les inhibiteurs de nitrification des engrais ammoniacaux devraient donc abaisser les pertes hivernales de l'azote épandu l'automne et, par conséquent, augmenter le rendement des cultures. Un certain nombre d'inhibiteurs (thio-urée, ATC,

N-Serve 24E, CS<sub>2</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CS<sub>3</sub> et K<sub>2</sub>CS<sub>3</sub>) ont été testés avec de l'urée et du NH<sub>3</sub> liquide. Ils ont tous réussi à supprimer la nitrification de l'azote appliqué l'automne (tableaux 2, 5 et 6) et à réduire les pertes hivernales d'azote, notamment quand l'engrais et l'inhibiteur avaient été épandus en localisation par bandes (tableaux 5 et 6). Dans la plupart des cas, la réduction des pertes s'est traduite par une augmentation substantielle du rendement en orge (tableaux 5 et 6). Cependant, la localisation, en bandes ou en poquets, en doses concentrées, a donné des résultats équivalents, sinon meilleurs, à ceux de l'addition d'inhibiteurs (voir Section : Méthodes de localisation de l'engrais).

Tableau 5 Taux retrouvé, dans le sol (0 - 90 cm), en mai, sous la forme ammoniacale et sous la forme minérale, de l'azote appliqué sous forme d'urée, et un inhibiteur\* (2:1), en octobre et en mai, à la dose de 56 kg de N/ha; augmentation du rendement et absorption de l'azote par les cultures d'orge par suite de ces traitements (moyennes de 10 essais).

Paramètre	Fumures automnales				Fumures printanières	
	Urée inc.**	Urée, bandes	U + I* inc.	U + I, bandes	Urée inc.	Urée, bandes
% retrouvé sous forme ammoniacale	8	15	30	46		
% retrouvé sous forme minérale	62	68	75	85		
Augmentation du rendement en grain (kg/ha)	1 070	1 250	1 440	1 740	2 000	2 090
% d'azote appliqué et trouvé dans le grain	31	37	44	57	63	67

\* U + I signifie urée + inhibiteur granulés ensemble dans un rapport de 2 à 1 respectivement. La thio-urée est un inhibiteur de la nitrification.  
 \*\* Incorporée.

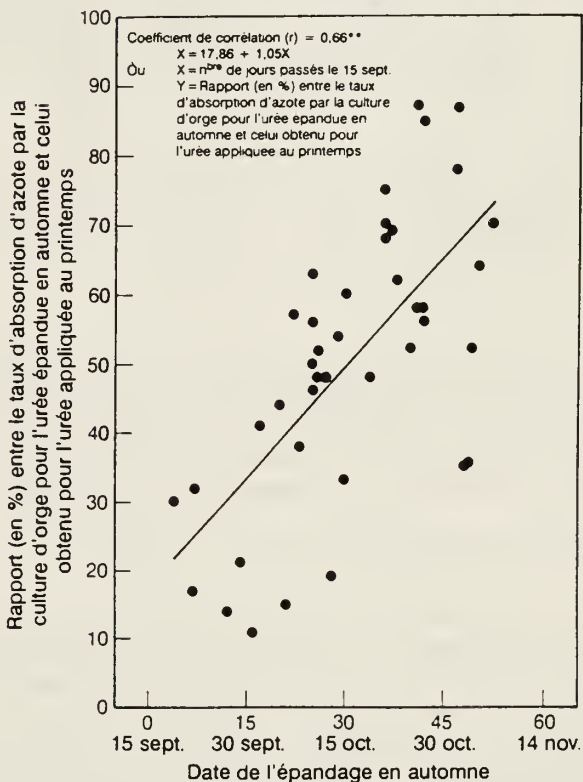
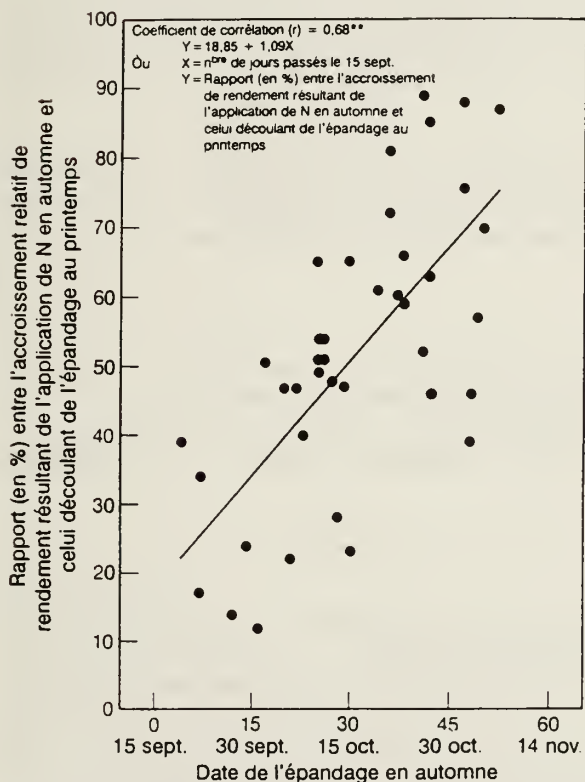
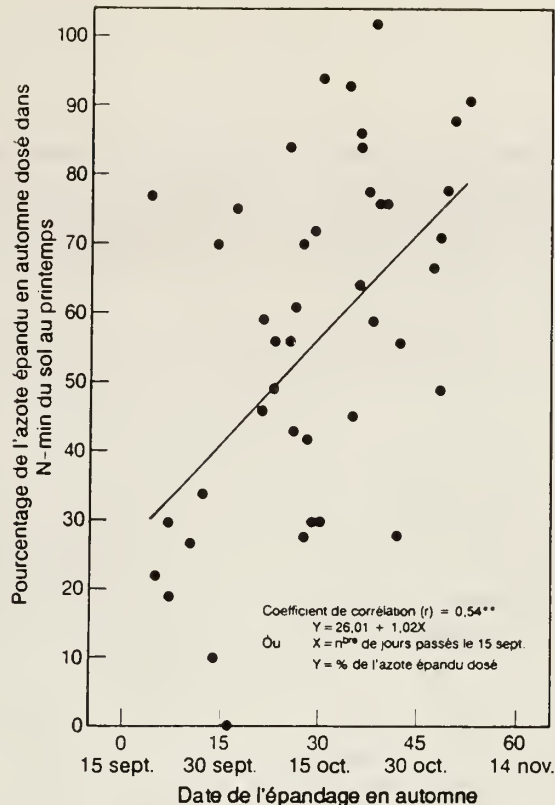
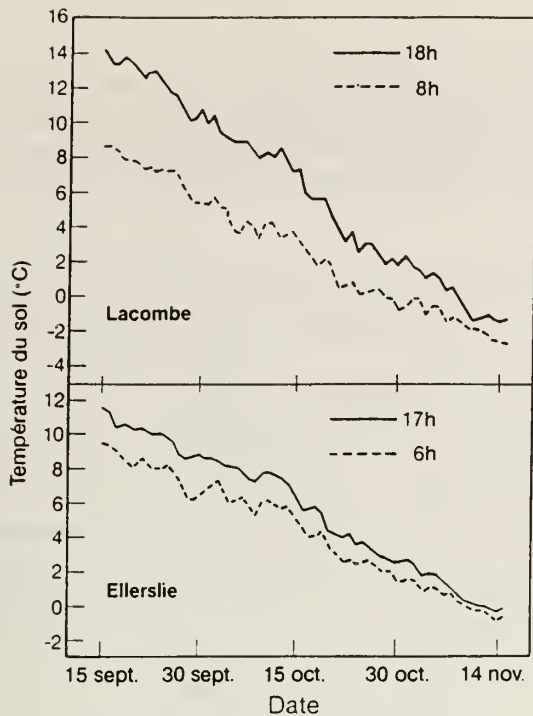


Fig. 2 Températures quotidiennes moyennes du sol le matin (6 h ou 8 h) et le soir (17 h ou 18 h), à 5 cm de profondeur, aux stations météorologiques d'Ellerslie (centre nord de l'Alberta) et de Lacombe (centre de l'Alberta), pour la période allant de 1975 à 1984.

Fig. 3 Effet de la date d'épandage de l'azote sous forme d'urée en automne (à raison de 50 ou 56 kg/ha) sur le pourcentage de cet azote dosé dans l'azote minéral du sol au printemps.

Fig. 4 Effet de la date d'épandage d'azote en automne (à raison de 50 ou 56 kg/ha) sur le rapport en pourcentage entre l'accroissement de rendement découlant de cet épandage et celui résultant de l'épandage de ce même engrais à la même dose au printemps.

Fig. 5 Effet de la date d'épandage d'azote en automne (à raison de 50 ou 56 kg/ha) sur le rapport (en pourcentage) entre le taux d'absorption d'azote par la culture d'orge pour l'urée épandue en automne et celui obtenu pour l'urée appliquée au printemps.



Tableau 6 Augmentation du rendement en grain et taux retrouvé, dans le sol au printemps et dans le grain à la moisson, de l'azote appliqué par localisation en bandes, l'automne et le printemps, sous forme d'urée en solution ou de  $\text{NH}_3$  aqueux, avec ou sans inhibiteur (moyenne de 6 essais pour  $\text{NH}_3$  et de 10 pour l'urée).

Type de traitement*	Augmentation du rendement (kg/ha)	Taux d'azote appliqué et retrouvé		
		Dans le grain	Dans le sol (0-30 cm)	
			N ammoniacal	N minéral
$\text{NH}_3$ liquide - aut.	763	26	1	49
$\text{NH}_3$ liquide + inhib. - aut.	1 144	41	18	69
$\text{NH}_3$ liquide - print.	1 557	55		
Urée - aut.	972	29	4	44
Urée + inhib. - aut.	1 358	40	34	73
Urée - print.	1 853	61		

\* Les inhibiteurs utilisés sont : l'ATC, le N-Serve 24E,  $\text{CS}_2$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{CS}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CS}_3$  et la thio-urée aux doses de 2, 4, 10, 20, 24 et 45 kg/ha respectivement.

Nous n'avons examiné qu'un seul engrais-retard : l'urée enrobée de soufre. Celle-ci n'a pas réussi à améliorer l'efficacité des fumures azotées automnales. Appliquée au printemps, elle a donné, avec l'orge, des rendements plutôt médiocres. On pense que cet engrais libérerait son azote trop lentement pour répondre à la demande des cultures.

#### Méthodes de localisation de l'engrais

Les inhibiteurs de nitrification améliorent le rendement de l'orge fertilisée avec des fumures automnales azotées. Cependant, ils peuvent ne pas être commodes à appliquer avec des engrais azotés et peuvent aussi se révéler peu efficaces quant au coût. De plus, on a observé que bon nombre de ces inhibiteurs ralentissaient la libération de l'azote minéral du sol. Des expériences au champ ont donc été menées pour vérifier s'il était possible d'améliorer l'efficacité de l'urée appliquée l'automne en concentrant l'engrais par la localisation en bandes, en poquets ou par l'emploi de grosses pastilles.

Au terme de quatre expériences visant à comparer l'épandage à la volée, l'incorporation au sol et la localisation en bandes (espacées de 22,5 cm), le rendement des cultures et le taux d'azote retrouvé dans les grains d'orge

étaient beaucoup plus faibles dans le cas des applications automnales que dans le cas des applications printanières (tableau 7). En général, l'épandage à la volée s'est révélé le moins efficace; la localisation par bandes le plus efficace, bien que cette méthode, pratiquée l'automne, eût donné malgré tout des résultats inférieurs à ceux de la même méthode appliquée le printemps.

D'autres expériences ont été effectuées avec des concentrations plus fortes d'urée et de  $\text{NH}_3$  liquide, localisés soit en bandes très espacées (écarts de 45 cm), soit en poquets, soit employés en pastilles.

Pour la méthode des poquets, on a placé un certain nombre de granules d'engrais commercial à une certaine profondeur du sol. Pour la méthode des pastilles, les granules d'urée variaient entre 1 et 3 g. Des pastilles ont été placées une à la fois sous la surface en suivant une grille imaginaire. Les espacements de la grille étaient en fonction de la grosseur des pastilles, de façon à conserver la même dose dans chaque traitement. Le but principal de la localisation en bandes ou en poquets et de l'incorporation au sol est de garder l'azote appliqué à l'automne sous forme d'ammonium en réduisant l'ère de contact entre le fertilisant et le sol.

Entre l'automne et le mois de mai suivant, les granules d'urée incorporés au sol avaient subi une nitrification presque complète (tableau 8). Par contre, quand l'engrais avait été localisé en bandes ou en poquets, on a retrouvé un taux notablement plus élevé de l'azote appliqué sous forme

Tableau 7 Augmentation du rendement et taux retrouvé, dans le grain d'orge, de l'azote appliqué l'automne et le printemps, suivant diverses méthodes à la dose de 56 kg de N/ha (moyennes de 4 épreuves).

Paramètre	Traitement automnal			Traitement printanier		
	À la volée*	Inc.**	Bandes***	À la volée	Inc.	Bandes
Augmentation du rendement en grain (kg/ha)	543	848	1 018	998	1 285	1 425
Taux d'azote appliqué et retrouvé dans le grain (%)	18	27	33	31	41	46

\* À la volée en surface.

\*\* Incorporé.

\*\*\* En bandes espacées de 22,5 cm.

ammoniacale. Il en est allé de même de l'azote appliqué retrouvé dans l'azote minéral, dont le taux a aussi été supérieur quand la localisation s'était faite par bandes et surtout par poquets, comparativement à la simple incorporation; selon ces résultats, ces deux méthodes de localisation pourraient réduire considérablement les pertes hivernales. On a aussi observé une augmentation du rendement et du taux retrouvé d'azote appliqué dans le grain (tableau 8). Dans le cas des poquets d'urée, les rendements de l'orge étaient très proches de ceux auxquels avaient conduit les traitements printaniers. On a obtenu des résultats similaires avec du  $\text{NH}_3$  liquide placé en bandes ou en poquets. Enfin, dans quelques expériences, on a utilisé des inhibiteurs de nitrification en même temps que la localisation en poquets, mais sans observer d'autre amélioration du rendement des cultures.

Quand la paille est restituée au champ, elle tend à immobiliser l'azote de façon temporaire et peut par conséquent affecter l'assimilabilité de l'azote de l'engrais pour la culture subséquente. On a tenté de déterminer, au cours de deux essais au champ, si on pouvait réduire au minimum l'effet de la paille en plaçant les engrais en bandes, en poquets ou encore en grosses pastilles. Dans le cas des traitements automnaux, le placement de l'urée en poquets a augmenté les rendements en orge ainsi que l'efficacité d'utilisation de l'azote, peu importe qu'il y ait de la paille ou non, bien que le rendement eût légèrement diminué avec la paille (tableau 9). En ce qui concerne les

Tableau 8 Effet de la méthode de placement sur l'augmentation du rendement en grain et sur le taux retrouvé, dans le sol en mai et dans les grains à la moisson, de l'azote appliqué l'automne et le printemps suivant sous forme d'urée à la dose de 50 ou 56 kg de N/ha (moyenne de 20 essais).

Type de traitement*	Augmentation du rendement (kg/ha)	Taux d'azote appliqué et retrouvé		
		Dans le grain	Dans le sol (0-60 cm)	
			N ammoniacal	N minéral
Urée inc.** - aut.	839	29	4	42
Urée, bandes - aut.	1 238 (950)	36 (26)***	20 (16)	66 (52)
Urée, poquets - aut.	1 509 (1 535)	46 (45)	50 (36)	77 (84)
Urée inc.** - print.	1 644 (1 763)	51 (54)		

\* Les bandes étaient espacées de 45 cm. Dans 7 essais, l'urée disposée en poquets était en pastilles de 2 ou 2,5 g.

\*\* Incorporée au sol

\*\*\* Entre parenthèses, les résultats de tests (4) effectués avec du  $\text{NH}_3$  aqueux.

Tableau 9 Effets de la paille provenant de la récolte précédente et de la méthode de localisation des fumures automnales et printanières d'urée à la dose de 50 kg de N/ha sur le rendement en orge et sur l'absorption de l'azote (moyenne de deux essais).

Type de traitement*	Rendement en grain (kg/ha)		Absorption d'azote (kg de grain /kg de N)		Pourcentage d'azote retrouvé (%)	
	Paille enlevée	Paille laissée	Paille enlevée	Paille laissée	Paille enlevée	Paille laissée
Témoin	2 065	1 665				
Urée inc.**						
- aut.	2 815	2 740	15,0	21,5	35	30
Urée en bandes						
- aut.	3 210	2 815	22,9	23,0	40	32
Urée en pastilles						
- aut.	3 300	3 105	24,7	28,8	43	54
Urée inc.**						
- print.	3 435	2 810	27,4	22,9	49	42
Urée en bandes						
- print.	3 460	3 270	27,9	32,1	54	53

\* En automne, les bandes étaient espacées de 45 cm. Les pastilles contenaient 2 g d'urée. Au printemps, elles ont été placées à 4 cm, en largeur et en profondeur, par rapport au rang de semis.

\*\* Incorporée au sol.

traitements printaniers, la différence de rendement entre les champs débarrassés de la paille et les champs avec paille était de 625 kg/ha après incorporation et de 190 kg/ha seulement, pour la localisation en bandes aux semailles. Il semble donc qu'une plus faible quantité d'azote demeure ainsi immobilisée dans la matière organique du sol comme l'ont démontré les expériences avec le  $^{15}\text{N}$  (tableau 10). Par conséquent, l'engrais reste disponible pour les cultures.

Selon ces expériences, pour conserver l'azote appliqué l'automne, le placement de l'urée, soit en bandes, soit en poquets ou, encore, l'emploi de pastilles, constituent, tant du point de vue économique qu'écologique, une excellente solution de rechange aux inhibiteurs chimiques de la nitrification. En effet, ils permettent une production efficace tout en protégeant mieux l'environnement contre les conséquences du lessivage et de la dénitrification et tout en évitant des dépenses additionnelles pour les produits chimiques.



Tableau 10 Effets de l'apport de paille et de la méthode de localisation de l'urée à la dose de 50 kg de N/ha au moment des semailles sur la fraction de  $^{15}\text{N}$  retrouvé à la moisson dans les plants d'orge et dans le sol.

		Pourcentage d'azote retrouvé			
		Dans les plantes		Dans le sol	
Localité	Méthode de localisation	Sans paille	Avec paille	Sans paille	Avec paille
Rimbey	Inc.*	60,1	51,7	29,9	36,9
	Bandes	73,9	71,0	18,8	21,2
	Poquets	76,0	77,8	15,8	20,7
Ellerslie	Inc.*	11,8	13,8	36,4	48,9
	Bandes	27,1	27,6	22,0	26,9
	Poquets	50,8	46,6	22,0	26,9

\* Incorporé au sol.

Six expériences ont visé à vérifier si, appliquées au printemps, les pastilles d'urée pouvaient être aussi efficaces que l'urée du commerce. Le placement en poquets ou en pastilles (de 2 g ou plus) au moment des semailles s'est révélé moins efficace pour augmenter le rendement de l'orge que l'incorporation d'urée du commerce au sol juste avant les semailles, ou encore que le placement en bandes au moment des semailles; en effet, le rendement augmente en moyenne de 853 kg/ha avec les pastilles d'urée contre 1 517 kg/ha avec l'urée du commerce. Dans l'une de ces expériences, le rendement a même diminué, passant de 1 240 kg/ha avec les pastilles de 1 g à 490 kg/ha avec les pastilles de 3 g. On attribue cette performance médiocre des pastilles d'urée utilisées au printemps surtout à la lenteur de diffusion de l'azote jusqu'aux racines des plantes. L'azote demeure ainsi inaccessible à beaucoup de plantes pendant quelque temps au début de la période de croissance.

Dans les Prairies, la dénitrification des engrais appliqués le printemps (contrairement à l'automne) ne fait pas problème la plupart du temps. Par conséquent, le placement en poquets ou en grosses pastilles au printemps ne présente alors aucun avantage particulier. Le placement en bandes permet en effet de parer très facilement à tout risque de déperdition de l'azote; l'utilisation des pastilles se révèle donc inutile.

#### Profondeur de l'application printanière

La position de l'engrais par rapport aux racines des plantes peut influencer sur l'assimilabilité de l'azote. En culture sèche, la couche supérieure du sol

sèche généralement assez tôt durant la saison. Les racines superficielles deviennent inactives et cessent d'absorber les éléments nutritifs. L'engrais qui se trouve en surface y reste bloqué, inutilisé (J.T. Harapiak, communication personnelle). En outre, les engrais azotés, l'urée notamment, à la surface ou près de la surface, sont exposés à des déperditions par volatilisation de l'ammoniac. Ces conditions peuvent donc limiter l'efficacité des engrais azotés. Certains essais au champ ont visé à étudier les effets de la profondeur d'application des engrais azotés sur la croissance des cultures (tableau 11). Dans quatre de ces expériences (n<sup>os</sup> 18 à 21), la supériorité des fumures uréiques incorporées au sol jusqu'à une profondeur de 10 à 12 cm sur les fumures superficielles, a été de 290 kg/ha tandis que celle des applications en bandes sur les applications en surface a été de 430 kg/ha.

Dans l'une des expériences (n<sup>o</sup> 8), les fumures, qu'elles aient été incorporées au sol ou localisées en bandes, ont procuré des rendements en grain beaucoup plus élevés lorsqu'elles avaient été profondes plutôt que superficielles. Dans cette expérience, la profondeur des applications superficielles était inférieure à 4 cm, et la surface du sol était très sèche au début de la période de croissance. Il se peut alors que l'engrais ait été immobilisé près de la surface et soit demeuré inaccessible aux plantes au début de leur croissance. Par contre, dans les autres expériences, les conditions d'humidité ayant été plus favorables, on n'a observé que peu ou pas de différence de rendement entre les fumures profondes et les fumures superficielles.

Tableau 11 Effet de la profondeur des fumures d'urée effectuées au moment des semailles sur le rendement des cultures d'orge dans le nord et le centre-nord de l'Alberta; résultats de 33 essais au champ.

Essai n <sup>o</sup>	Rendement en grains d'orge (kg/ha)					
	Témoin Trav. superf.*	Témoin Trav. profond*	Urée Trav. superf. Inc. superf.	Urée Trav. profond Inc. profonde	Urée Trav. superf. Bandes superf.	Urée Trav. profond Bandes profondes
1-4	2 020	2 860	3 880	3 890		
5-7	1 960	1 980	2 930	2 880	3 160	3 180
8	1 710**	2 100	1 790**	3 090	2 460	3 390
9-17		1 520		3 750	3 850	
18-21		1 100	2 090***	2 380	2 520	
22-33	1 900		2 740		2 770	

\* Travail superficiel : de 5 à 7 cm de profondeur; travail profond : de 10 à 12 cm de profondeur.

\*\* Le sol a été travaillé jusqu'à une profondeur inférieure à 4 cm.

\*\*\* Dans ces essais, l'urée a été épandue à la volée et non incorporée.

Ces résultats montrent qu'on peut modifier le rendement des cultures selon la profondeur d'application de l'engrais. L'avantage des applications en profondeur sur les applications superficielles serait en partie annulé si des précipitations suivent de peu les fumures. Les applications en profondeur sont donc susceptibles d'être plus avantageuses durant des années sèches, alors que l'engrais peut rester en place durant la période critique du début de la croissance des cultures. Ce rendement inférieur de la fumure azotée printanière peut dissimuler l'écart entre les résultats obtenus avec les fumures automnales et printanières.

#### Dose d'azote, teneur du sol en azote nitrique et rendement des cultures

En général, à mesure qu'on augmente la dose d'azote, le rendement des cultures augmente de plus en plus lentement. On s'attendrait donc à de plus petites différences relatives de rendement entre les applications automnales et les applications printanières de fortes doses d'engrais. Pour vérifier les effets de la dose d'urée sur le rendement relatif des applications automnales et printanières, huit essais au champ ont été menés (tableau 12). En comparant les résultats des fumures automnales à ceux des fumures printanières, nous avons observé, entre ces traitements, que les écarts d'efficacité entre l'utilisation de l'azote par les cultures et le pourcentage d'azote retrouvé se rétrécissaient, en raison de l'augmentation de la dose d'azote. Ainsi,

Tableau 12 Effet de la dose d'azote sur l'efficacité de l'utilisation d'azote, sur le pourcentage d'azote retrouvé dans le grain et sur l'efficacité de l'urée des fumures automnales relativement aux fumures printanières (moyenne de 8 essais).

Dose d'azote (kg de N/ha)	Moment de l'application	Efficacité d'utilisation d'azote (kg de grain /kg de N)	Taux d'azote retrouvé dans le grain (%)	Efficacité relative (rendement)*	Efficacité relative (N utilisé)*
25	Automne	15,7	20,0	47	42
	Printemps	34,1	48,9		
50	Automne	16,6	25,8	59	60
	Printemps	28,9	43,7		
100	Automne	15,8	27,1	73	69
	Printemps	20,0	34,9		

\* L'efficacité relative se calcule comme suit : 100 fois le quotient de l'augmentation du rendement (ou du taux d'azote retrouvé, selon le cas) procurée par la fumure automnale divisée par l'augmentation du rendement (ou du taux d'azote retrouvé) procurée par la fumure printanière.



l'efficacité des applications automnales relativement aux printanières est passée de 47 à 73 % pour les doses de 25 et de 100 kg de N/ha, respectivement. Il ne faudrait pas en conclure cependant que de fortes doses d'azote pourront réduire les pertes durant l'hiver, mais plutôt qu'elles vont masquer les différences entre les applications automnales et les applications printanières. D'autre part, l'utilisation d'un surplus d'engrais pour compenser les pertes hivernales ne serait une solution ni économique ni recommandable du point de vue environnemental. Pour améliorer l'efficacité des applications automnales d'azote, il vaut mieux utiliser d'autres méthodes telles que la localisation en bandes, en poquets ou en pastilles.

À mesure qu'augmente la teneur du sol en azote assimilable par les plantes, la réaction des cultures à l'azote de l'engrais diminue. Ainsi, au cours des travaux dans le centre de l'Alberta, on a observé une plus faible réaction aux applications automnales et printanières d'azote sur les sols riches en azote nitrique que sur les sols pauvres en azote nitrique (données non diffusées).

### **Texture, drainage et humidité du sol en automne**

Pour étudier les effets des conditions pédologiques sur l'efficacité des fumures automnales uréiques relativement aux fumures printanières, les champs utilisés ont été classés selon la texture de leur sol, leur drainage et leur degré d'humidité durant l'automne (tableau 13). On a observé que les stations imparfaitement drainées, à sols de texture moyenne à grossière et d'humidité supérieure à la capacité au champ, l'automne, correspondaient plutôt à une utilisation moins efficace de l'azote relativement aux stations mieux ou bien drainées, à sols fins à très fins et d'humidité inférieure à la capacité au champ.

### **Zone pédoclimatique**

Des études d'incubation en laboratoire ont montré que, en anaérobiose, les sols de toutes les zones agroclimatiques de l'Alberta possèdent les mêmes potentiels de déperdition d'azote nitrique (tableau 14); mais en réalité, la déperdition de l'azote appliqué l'automne dépend des conditions pédoclimatiques. Les zones des sols bruns et brun foncé sont relativement sèches et deviennent rarement saturées d'eau, le printemps, à la fonte. Par contre, les zones de luvisol gris et de sol noir sont relativement humides et demeurent habituellement saturées d'eau plusieurs jours après la fonte. Afin d'évaluer les pertes hivernales en azote des engrais appliqués durant cette saison dans les différentes zones pédologiques de l'Alberta, on a procédé à des essais au champ, de Beaverlodge, dans le nord, à Lethbridge, dans le sud, au moyen de  $\text{KNO}_3$  marqué au  $^{15}\text{N}$  (tableau 14). Les déperditions ont été beaucoup plus élevées dans le nord et le centre que dans le sud. Il faut noter cependant que ces expériences n'ont été effectuées que durant une seule année et que les données du tableau 14 pourraient varier d'une année à l'autre en fonction des conditions météorologiques régionales.

Le tableau 15 résume 99 expériences dans des cultures d'orge et de blé en comparant le rendement de ces dernières en réaction à l'incorporation automnale (relativement à printanière) d'urée au sol dans différentes zones pédologiques de l'Alberta. L'efficacité de l'azote des fumures automnales

relativement aux fumures printanières est moindre dans les zones de luvisol gris et de sols noirs que dans les zones de sols bruns et brun foncé.

Tableau 13 Effets de différents facteurs sur les résultats des fumures uréiques automnales relativement aux printanières (dose de 56 kg de N/ha) quant à l'augmentation du rendement et au taux d'azote retrouvé, dans 44 essais au champ.

Facteurs	Nombre d'essais	Efficacité relative (rendement)*	Efficacité relative (taux d'azote retrouvé)*
Texture			
Moyenne à grossière	26	51	46
Fine à très fine	18	61	56
Drainage			
Bon à modéré	32	57	51
Imparfait	12	47	44
Humidité en automne			
< 5 % CC**	12	62	55
75 à 100 % CC	20	56	52
> CC	12	46	42

\* L'efficacité relative se calcule comme suit : 100 fois le quotient de l'augmentation du rendement (ou du taux d'azote retrouvé, selon le cas) procurée par la fumure automnale divisée par l'augmentation du rendement (ou du taux d'azote retrouvé) procurée par la fumure printanière.

\*\* CC (capacité au champ) : degré d'humidité du sol à 33 kPa.

Tableau 14 Potentiel de dénitrification et déperdition hivernale effective de l'azote des fumures hivernales au  $\text{KNO}_3$  marqué au  $^{15}\text{N}$  dans des sols albertains, du nord au sud de cette province.

Localité	Région de l'Alberta	Potentiel de dénitrification (mg de N/kg de sol/j)	Pourcentage de déperdition de N pendant l'hiver
Beaverlodge	Nord	19	93
Ellerslie	Centre-Nord	20	79
Rimbey	Centre	23	74
Calgary	Centre-Sud	21	30
Granum-Vauxhall	Sud	22	18

Tableau 15 Efficacité des fumures automnales relativement aux fumures printanières d'azote incorporé\* au sol de différentes zones pédologiques\*\*\*.

Zone pédologique	Nombre de stations	Efficacité relative (rendement)**	Nombre de stations	Efficacité relative (% d'azote retrouvé)**
Luvisols	17	63	16	63
Sols noirs	54	73	48	66
Sols brun foncé	15	86	11	80
Sols bruns	13	97	13	89

\* L'engrais azoté a été incorporé jusqu'à une profondeur de 5 à 7 cm dans la plupart des essais dans les zones de sols bruns et brun foncé et dans les deux tiers des essais dans les luvisols et la zone de sols noirs; dans tous les autres cas, il a été incorporé jusqu'à 10 cm.

\*\* L'efficacité relative se calcule comme suit : 100 fois le quotient de l'augmentation du rendement (ou du taux d'azote retrouvé, selon le cas) procuré par la fumure automnale divisée par l'augmentation du rendement (ou du taux d'azote retrouvé) procurée par la fumure printanière.

\*\*\* Source : Bole et al., 1984. Regional and environmental influence on N use efficiency. pp. 1-29 dans Proc. Alberta Soil Science Workshop, 21-22 fév. 1984, Edmonton.

## CONCLUSIONS

Les fumures automnales d'azote sont moins efficaces que les fumures printanières parce qu'il se produit, l'hiver, une nitrification substantielle suivie d'une déperdition de l'azote par dénitrification. Les engrais à base de nitrate subissent davantage de pertes que les engrais ammoniacaux, et ces derniers sont plus efficaces pour accroître le rendement des cultures d'orge.

On a considérablement amélioré l'efficacité des fumures automnales en localisant l'urée en bandes ou, mieux encore, en poquets ou sous forme de pastilles. Ces méthodes sont plus efficaces que l'incorporation au sol parce que la nitrification est plus lente et, peut-être, parce que l'immobilisation de l'azote est réduite. Quant à l'épandage à la volée, cette méthode s'est révélée la moins efficace. Une autre façon d'améliorer l'efficacité des fumures automnales consiste à retarder le plus possible le moment de l'application jusqu'avant le gel du sol. D'autre part, les applications printanières d'urée en poquets ou en pastilles ont diminué le rendement des cultures parce que l'engrais demeure inaccessible aux plantes pendant un certain temps au début de la pleine saison de croissance.

Les inhibiteurs sont efficaces pour ralentir la nitrification, diminuer la déperdition hivernale et améliorer le rendement des cultures d'orge en réaction aux fumures automnales. Cependant, ils peuvent être d'un emploi difficile et peu économique. Quant à l'urée enrobée de soufre, engrais à libération lente, elle ne s'est pas révélée efficace pour améliorer le rendement des fumures azotées automnales relativement aux fumures printanières.

L'efficacité des fumures automnales par rapport aux fumures printanières a augmenté en fonction de l'augmentation de la dose d'azote, de la teneur en azote nitrique du sol, de la finesse de sa texture, de la qualité du drainage et de la sécheresse du sol en automne et au début du printemps. Enfin, c'est dans la zone des luvisols gris que les déperditions hivernales sont les plus élevées et dans la zone de sols bruns qu'elles le sont le moins.



## RECOMMANDATIONS

1. Pour les fumures automnales, utiliser des engrais azotés ammoniacaux.
2. Localiser l'engrais azoté en bandes largement espacées sous la surface du sol ou utiliser toute autre méthode qui réduit la surface de contact entre le sol et l'engrais.
3. Retarder les épandages automnaux de façon à les effectuer le plus près possible du moment où le sol commence à geler.
4. Pour que les fumures printanières soient le plus efficaces possible, les incorporer au sol jusqu'à une profondeur de 10 à 12 cm ou les localiser en bandes plus profondes que les semis.

## BIBLIOGRAPHIE

- Bole, J.B.; Harapiak, J.T.; Malhi, S.S.; Penney, D.C. 1984. Regional and environmental influence on nitrogen use efficiency. In Proceedings of Alberta Soil Workshop. pp. 1-18.
- Heaney, D.G.; Blades, A.T.; Malhi, S.S.; Nyborg, M. 1984. Over-winter mineralization, immobilization and denitrification of mineral nitrogen. In Proceedings of Alberta Soil Science Workshop. pp. 46-59.
- Heaney, D.J.; Nyborg, M.; Solberg, E.D.; Malhi, S.S.; Ashworth, J. 1992. Overwinter nitrate loss and denitrification potential of cultivated soils in Alberta. Soil Biol. Biochem. 24:877-884.
- Malhi, S.S.; McGill, W.B. 1982. Effect of temperature, moisture, and substrate concentration on the rate of nitrification. Soil Biol. Biochem. 14:393-399.
- Malhi, S.S.; Nyborg, M. 1979. Nitrate formation during winter from fall-applied urea. Soil Biol. Biochem. 11:439-441.
- Malhi, S.S.; Nyborg, M. 1982. An evaluation of carbon disulphide as a sulphur fertilizer and as a nitrification inhibitor. Plant and Soil 65:203-218.
- Malhi, S.S.; Nyborg, M. 1983. Field study of the fate of fall-applied <sup>15</sup>N in three Alberta soils. Agron. J. 75:71-74.
- Malhi, S.S.; Nyborg, M. 1983. Release of mineral N from soils: Influence of inhibitors of nitrification. Soil Biol. Biochem. 15:581-585.
- Malhi, S.S.; Nyborg, M. 1984. Inhibiting nitrification and increasing yield of barley by band placement of thiourea with fall-applied urea. Plant and Soil 77:193-206.
- Malhi, S.S.; Nyborg, M. 1984. Methods of placement for increasing the efficiency of N fertilizers applied in the fall. Agron. J. 77:27-32.

- Malhi, S.S.; Nyborg, M. 1986. Increase in mineral N in soils during winter and loss of mineral N during early spring in north-central Alberta. Can. J. Soil Sci. 66:397-409.
- Malhi, S.S.; Nyborg, M. 1988. Effect of ATC, N-Serve 24E and thiourea nitrification inhibitors on yield and N uptake of barley fertilized with fall-applied N. Plant Soil 105:223-229.
- Malhi, S.S.; Nyborg, M. 1988. Control of nitrification of fertilizer nitrogen: Effect of inhibitors, banding and nesting. Plant Soil 107:245-250.
- Malhi, S.S.; Nyborg, M. 1990. Efficiency of fall-applied urea for barley: Influence of date of application. Fert. Res. 22:141-145.
- Malhi, S.S.; Nyborg, M. 1991. Recovery of  $^{15}\text{N}$ -labelled urea: Influence of zero tillage, and time and method of application. Fert. Res. 28:263-269.
- Malhi, S.S.; McGill, W.B.; Nyborg, M. 1990. Nitrate losses in soils: Effect of temperature, moisture and substrate concentration. Soil Biol. Biochem. 22:733-737.
- Malhi, S.S.; Nyborg, M. 1992. Fall- versus spring-applied urea: Influence of N rate. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 23:301-312.
- Malhi, S.S.; Nyborg, M.; Solberg, E.D. 1989. Recovery of  $^{15}\text{N}$ -labelled urea as influenced by straw addition and method of placement. Can. J. Soil Sci. 69:543-550.
- Monreal, C. 1981. Nest placement of nitrogen fertilizers. M.Sc. Thesis. University of Alberta, Edmonton, Canada.
- Nuttal, W.S.; Dawley, W.K.; Malhi, S.S.; Bowren, K.E. 1989. The effect of spring and fall application of N on yield and quality of barley (Hordeum vulgare L.) and rapeseed (Brassica campestris L.). Can. J. Soil Sci. 69:199-211.
- Nyborg, M.; Malhi, S.S. 1979. Increasing the efficiency of fall-applied urea fertilizer by placing in big pellets or in nests. Plant and Soil 52:461-465.
- Nyborg, M.; Malhi, S.S. 1986. Comparison of fall and spring application of nitrogen fertilizers in northern and central Alberta. Can. J. Soil Sci. 66:225-236.
- Nyborg, M.; Malhi, S.S.; Solberg, E.D. 1990. Effect of date of application on the fate of  $^{15}\text{N}$ -labelled urea and potassium nitrate. Can. J. Soil Sci. 70:21-31.
- Nyborg, M.; Malhi, S.S. 1992. Effectiveness of fall-versus spring-applied urea on barley: Pellet size and depth of placement. Fert. Res. 31:235-239.

CANADIAN AGRICULTURE LIBRARY



BIBLIOTHEQUE CANADIENNE DE L'AGRICULTURE

3 9073 00095389 5



